



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana - Fahafahana – Fandrosoana

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PÊCHE

PROJET DE MISE EN VALEUR ET DE PROTECTION
DES BASSINS VERSANTS AU LAC ALAOTRA
(BV ALAOTRA)



Document de travail BV lac n° 80

**Impacts économiques de la fertilisation pour les
cultures de maïs et de riz au lac Alaotra : rentabilité et
retour sur investissement n° 2
Les résultats sur les parcelles de TAFA et synthèse sur les
données standards**

MYRIAM CLEYETT RENAUD, ERIC PENOT & RAPHAEL DOMAS
NOVEMBRE 2011

Principaux Résultats pour les données de Tafa

Dans ce paragraphe, nous donnerons uniquement une synthèse des résultats obtenus. Le détail des calculs étant fourni dans un document de travail spécifique.

Culture de maïs sur tanety

Le tableau suivant résume les itinéraires techniques suivis pour les 5 essais culturels réalisés par Tafa de maïs en semis direct sur des tanety (sols riches). A chaque ligne correspond deux cultures suivant le même itinéraire technique mais l'une sans fertilisation minérale et la seconde avec engrais minéraux (case surlignées).

		Itinéraire technique										Précédent cultural
		Semences		Engrais			Herbicides		Insecticides et fongicides			
		culture (kg/ha)	plante de couverture (kg/ha)	fumier (t/ha)	NPK (kg/ha)	Urée (kg/ha)	Glyphosate (L/ha)	2,4-D (L/ha)	Cyperméthrine (L/ha)	Gaucho (g/ha)	Thiram (g/ha)	
Semis direct	Maïs + dolique	25	25	5	150	100	1,5	1,5	0,25	62,5	125	Riz
	Maïs + vigna	25	25	5	150	100	1,5	1,5	0,25	62,5	125	Riz
	Maïs + Cajanus cajan	25	7	5	150	100	1,5	1,5	0,25	62,5	125	Maïs + dolique
	Maïs + Crotalaria juncea	25	15	5	150	100	1,5	1,5	0,25	62,5	125	Maïs + dolique
	Maïs + Desmodiu m	25	0	5	150	100	1,5	1,5	0	62,5	0	Desmodiu m

Tableau 1 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 5 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur tanety

Pour ces itinéraires techniques, la fertilisation minérale (150 kg/ha de NPK & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du NPK et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

		Prix seuils d'utilisation	
		prix NPK (Ar/kg)	prix urée (Ar/kg)
Semis direct	A : maïs+dolique précédent riz	1147	878
	B : maïs+Vigna umbellata précédent riz	1931	1477
	C : maïs+Cajanus cajan précédent maïs+dolique	1081	827
	D : maïs+Crotalaria juncea précédent maïs+dolique	1583	1211
	E : maïs+Desmodium précédent Desmodium	618	473

Tableau 2 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 5 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur tanety, réalisés par Tafa

Pour les itinéraires techniques réalisés, l'association maïs+*Vigna umbellata* est le système permettant le meilleur rendement. C'est également le système qui possède la meilleure réponse aux engrais minéraux. Il est alors intéressant d'utiliser des intrants pour ce système.

Si le prix des engrais est assez bas, il peut également être intéressant d'utiliser la fertilisation minérale sur le système maïs+*crotalaria juncea* précédant maïs+dolique.

En revanche pour les trois autres systèmes étudiés, la réponse aux engrais minéraux n'est pas très bonne. Cela engendre des seuils de rentabilité du prix du NPK et de l'urée assez faibles et les paysans n'ont pas intérêt à utiliser des engrais minéraux sur ces systèmes.

Culture de maïs sur baibohos

Le tableau suivant résume les itinéraires techniques suivis pour les 2 essais culturels réalisés par Tafa de maïs en semis direct sur des baibohos.

		Itinéraire technique								Précédent cultural
		Semences	Engrais			Herbicides		Insecticides et fongicides		
		culture (kg/ha)	DAP (kg/ha)	KCl (kg/ha)	Urée (kg/ha)	Glyphosate (L/ha)	2,4-D (L/ha)	Gaoucho (g/ha)	Thiram (g/ha)	
Semis direct	Maïs + Vigna	25	130	80	100	1,5	1,5	62,5	125	Niébé
	Maïs + Vigna	25	130	80	100	1,5	1,5	150	0	avoine

Tableau 3 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur baibohos

Pour ces itinéraires techniques, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

		Prix seuils d'utilisation	
		prix DAP & KCl (Ar/kg)	prix urée (Ar/kg)
Semis direct	A : maïs+Vigna umbellata précédant niébé	1081	805
	B : maïs+Vigna umbellata précédant avoine	1513	1127

Tableau 4 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur baibohos, réalisés par Tafa

Le système B a eu une meilleure réponse aux engrais que le système A. Cependant, pour ces deux systèmes, les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée restent faibles. Il apparaît donc peu intéressant d'utiliser des engrais minéraux sur ces systèmes (pour les itinéraires techniques étudiés).

Culture de riz sur tanety

Sur tanety, Tafa a réalisé les 5 essais culturels de riz suivants :

Essai cultural		Précédent cultural
Riz A	Semis direct	Stylosanthès
Riz B	Semis direct	Soja + Bracharia
Riz C	Semis direct	Sorgho + Eleusine + C.juncea + Cajanus
Riz D	Semis direct	Sorgho
Riz E	Labour	Sorgho + Eleusine + C.juncea + Cajanus

Tableau 5 : Les 5 essais culturels de riz sur tanety réalisés par Tafa

Le même itinéraire technique a été suivi pour ces essais. Il est donné dans le tableau ci-dessous.

Itinéraire technique								
Semences	Engrais				Herbicides		Insecticides et fongicides	
culture (kg/ha)	fumier (t/ha)	DAP (kg/ha)	KCl (kg/ha)	Urée (kg/ha)	Glyphosate (L/ha)	2,4-D (L/ha)	Gaucho (g/ha)	Carbofuran (kg/ha)
60	5	130	80	100	3	1,5	150	2,5

Tableau 6 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 5 essais expérimentaux de culture de riz sur tanety

D'après ces essais culturaux, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

		Prix seuils d'utilisation	
		DAP & KCl (Ar/kg)	Urée (Ar/kg)
Semis direct	A : riz précédent stylosanthès	1687	1257
	B : riz précédent soja+bracharia	337	251
	C : riz précédent sorgho + éleusine + C. juncea + Cajanus	1274	949
	D : riz précédent sorgho	1207	899
Labour	E : riz précédent sorgho + éleusine + C. juncea + Cajanus	987	698

Tableau 7 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 5 essais expérimentaux de culture de riz sur tanety, réalisés par Tafa

D'une part, pour les itinéraires techniques étudiés, le système A est celui qui permet le meilleur rendement. Si le prix des engrais est assez bas, il peut être intéressant d'utiliser la fertilisation minérale sur ce système. Pour les autres systèmes, les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée sont dans l'ensemble faibles et il apparaît donc peu intéressant d'utiliser des engrais minéraux. D'autre part, cette analyse permet de comparer l'effet du semis direct par rapport au labour. Les systèmes C (semis direct) et E (labour) suivent le même itinéraire technique mais on constate que le rendement est meilleur dans le cas C que dans le cas E (augmentation du rendement de 28% pour l'essai cultural sans engrais minéraux et de 16% pour l'essai cultural avec engrais minéraux). Cette observation confirme bien l'intérêt du semis direct.

Culture de riz sur baibohos

Sur baibohos, Tafa a réalisé les 2 essais culturaux de riz suivants :

Essai cultural		Précédent cultural
Riz A	Labour	dolique
Riz B	Semis direct	dolique

Tableau 8 : Les 2 essais culturaux de riz sur baibohos réalisés par Tafa

Le même itinéraire technique a été suivi pour ces essais. Il est donné dans le tableau ci-dessous.

Itinéraire technique							
Semences	Engrais				Herbicides		Insecticides et fongicides
culture (kg/ha)	fumier (t/ha)	DAP (kg/ha)	KCl (kg/ha)	Urée (kg/ha)	Glyphosate (L/ha)	2,4-D (L/ha)	Gaucho (g/ha)
60	5	130	80	100	3	1,5	150

Tableau 9 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur baibohos

D'après ces essais culturaux, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

		Prix seuils d'utilisation	
		DAP & KCl (Ar/kg)	Urée (Ar/kg)
Labour	A : riz précédent dolique	2139	1594
Semis direct	B : riz précédent dolique	1856	1383

Tableau 10 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur baibohos, réalisés par Tafa

D'une part, pour les itinéraires techniques étudiés, les deux systèmes ont plutôt une bonne réponse à la fertilisation minérale. Les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée sont assez élevés (surtout pour le système A), donc il apparaît intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour ces systèmes tant que les prix des intrants sont inférieurs aux seuils déterminés. D'autre part, ces résultats permettent également de montrer l'intérêt du semis direct : les rendements sont bien meilleurs pour le système avec semis direct par rapport à ceux obtenus pour le système avec labour. Pour l'essai cultural sans engrais minéraux, le rendement du système avec semis direct est augmenté de 60% par rapport au système avec labour, et pour l'essai cultural avec engrais minéraux, il est augmenté de 31%.

Culture de riz sur rizière irriguée

Sur rizières irriguée, Tafa a réalisé les 2 essais culturaux de riz suivants :

Essais cultural		Précédent cultural
Riz A	Semis direct	dolique
Riz B	Labour	dolique

Tableau 11 : Les 2 essais culturaux de riz sur rizière irriguée réalisés par Tafa

Le même itinéraire technique a été suivi pour ces essais. Il est donné dans le tableau ci-dessous.

Itinéraire technique						
Semences	Engrais			Herbicides		Insecticides et fongicides
culture (kg/ha)	DAP (kg/ha)	KCl (kg/ha)	Urée (kg/ha)	Glyphosate (L/ha)	2,4-D (L/ha)	Gaucho (g/ha)
60	130	80	100	3	1,5	150

Tableau 12 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur rizière irriguée

D'après ces essais culturaux, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

		Prix seuils d'utilisation	
		DAP & KCl (Ar)	prix urée (Ar))
Semis direct	A : riz précédent dolique	1687	1257
Labour	B : riz précédent dolique	506	377

Tableau 13 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur rizière irriguée, réalisés par Tafa

D'une part, pour les itinéraires techniques étudiés, les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée sont moyens pour le système A et très faibles pour le système B. Donc si le prix des engrais est suffisamment faible il peut être intéressant d'utiliser une fertilisation minérale pour le système A, en revanche pour le système B, les paysans n'ont pas intérêt à utiliser des engrais minéraux. D'autre part, ces résultats permettent également de montrer l'intérêt du semis direct : les rendements sont bien meilleurs pour le système avec semis direct par rapport à ceux obtenus pour le système avec labour. Pour l'essai cultural sans engrais minéraux, le rendement du système avec semis direct est augmenté de 36% par rapport au système avec labour, et pour l'essai cultural avec engrais minéraux, il est augmenté de 63%.

Résultats de l'application des modèles aux données de Tafa et aux données standards

A partir des données réelles, nous avons obtenus les modèles suivants :

Culture	Type de sols	Système	Modèle
Maïs	Tanety	Maïs+Vigna en semis direct	$PB = 6320 \cdot N + 242\,800$
		Maïs+Niébé sur labour	$PB = 5440 \cdot N + 198\,400$
	Baiboho	Maïs+Vigna en semis direct	$PB = 2360 \cdot N + 968\,800$
Riz	Tanety	Riz variété B22 en semi direct	$PB = 5225 \cdot N + 831\,600$
		Riz variété B22 sur labour	$PB = 5367 \cdot N + 506\,418$
	Baiboho	Riz variété B22 sur labour	$PB = 6553 \cdot N + 868\,450$

Tableau 14 : Synthèse des 6 modèles obtenus à partir des données réelles

Pour ces 6 systèmes, il est intéressant de calculer pour les systèmes similaires des données standards et des données de Tafa, le produit brut théorique. Cela nous permettra de déterminer les itinéraires techniques pour lesquels ces modèles fonctionnent bien.

Culture de maïs sur tanety

Pour la culture de maïs sur tanety, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

		Données Tafa	Données standards	Données réelles
Semis Direct	Maïs+Dolique	1	0	0
	Maïs+Vigna	1	0	1
	Maïs+Cajanus	1	0	0
	Maïs+Crotalaria	1	0	0
	Maïs+Desmodium	1	0	0
Labour	Maïs+Niébé	0	2	1

Tableau 15 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type d'association de culture de maïs sur tanety

Nous pouvons donc tester les modèles pour

- la culture de Maïs+Vigna à partir des données de Tafa.
- la culture de Maïs+Niébé à partir des données standards.

Maïs+vigna en semis direct sur tanety

Le tableau suivant donne certaines caractéristiques du système maïs+vigna en semis direct sur tanety des données de Tafa.

	Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
ITK sans engrais minéraux	5 000 kg/ha de fo	1 231 250	150
ITK avec engrais minéraux	150 kg/ha de NPK + 100 kg/ha d'Urée + 5000 kg/ha de fo	1 675 000	212,5

Tableau 16 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du vigna en semis direct sur tanety, à partir des données de Tafa

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 6320 \cdot N + 242\,800$ {a}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut théorique calculé à partir de l'équation {a} au produit brut observé lors des essais culturaux de Tafa.

Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)	Produit brut calculé à partir de l'équation de modélisation {a}	Produit brut observé (données Tafa)	Taux d'erreur par rapport au modèle
150	1 190 800 Ar/ha	1 231 250 Ar/ha	3%
212,5	1 585 800 Ar/ha	1 675 000 Ar/ha	6%

Tableau 17 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur tanety

Pour les deux types de fertilisation, on constate que le taux d'erreur est faible. Donc pour l'itinéraire technique suivi par Tafa, on peut accepter la modélisation du produit brut de la culture de Maïs+vigna en fonction de la valeur de fertilisation azotée, ainsi que tous les résultats concernant le calcul du seuil d'utilisation des engrais (présentés dans la partie précédente II.3) L'erreur observée est en partie due à l'écart entre le prix de vente de la récolte des données de Tafa (350 Ar/kg) et celui des données réelles (400 Ar/kg).

Maïs+Niébé en labour sur tanety

On dispose de deux jeux de données standards différents pour la culture de maïs+niébé en labour sur tanety. Ils correspondent à deux itinéraires techniques différents.

		Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
ITK 1	sans urée	65 kg/ha de NPK + 3395 kg/ha de fo	557 200	109
	avec urée	65 kg/ha de NPK + 53 kg/ha d'urée + 3395 kg/ha de fo	818 400	133,38
ITK 2	sans urée	3293 kg/ha de fo	800 400	98,79
	avec urée	54 kg/ha d'urée + 3293 kg/ha de fo	923 600	123,63

Tableau 18 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du niébé en labour sur tanety, à partir des données standards

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 5440 \cdot N + 198\,400$ {b}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {b} au produit brut observé des données standards.

	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)	Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {b}	Produit brut (Ar/ha) observé	Taux d'erreur par rapport au modèle
ITK 1	109	791 360	557 200	30%
	133,8	926 272	818 400	12%
ITK 2	98,79	735 818	800 400	9%
	123,63	870 947	923 600	6%

Tableau 19 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur tanety

Les taux d'erreurs sont faibles pour l'itinéraire technique 2. Donc pour cet itinéraire technique, on peut accepter la modélisation du produit brut de la culture de Maïs+niébé en fonction de la valeur de fertilisation azotée, ainsi que tous les résultats concernant le calcul du seuil d'utilisation des engrais (présentés dans la partie précédente II.3)

Culture de maïs sur baibohos

Pour la culture de maïs sur baiboho, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

		Données TAFA	Données standards	Données réelles
Semis Direct	Maïs+Dolique	0	0	1
	Maïs+Vigna	2	0	1
Labour	Maïs+Niébé	0	0	1

Tableau 20 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type d'association de culture de maïs sur baibohos

Nous pouvons donc tester, sur les données de Tafa, le modèle obtenu pour le système maïs+vigna en semis direct sur baibohos.

Maïs + Vigna en semis direct, sur baiboho

Le tableau suivant donne les caractéristiques des deux systèmes maïs+vigna en semis direct sur baibohos réalisés par Tafa.

		Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
Cas 1 : précédent niébé	ITK sans engrais minéraux	Aucune	1 280 000	0
	ITK avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 587 000	69,4
Cas 2 : précédent avoine	ITK sans engrais minéraux	Aucune	875 000	0
	ITK avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 305 500	69,4

Tableau 21 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du vigna en semis direct sur baibohos, à partir des données de Tafa

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 2360 \cdot N + 968\,800$ {c}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {c} au produit brut observé lors des essais culturaux de Tafa.

	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)	Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {c}	Produit brut (Ar/ha) observé	Taux d'erreur par rapport au modèle
Cas 1	0	968 800	1 280 000	32%
	69,4	1 132 584	1 587 000	40%
Cas 2	0	968 800	875 000	10%
	69,4	1 132 584	1 305 500	15%

Tableau 22 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur baibohos

Pour le cas 1, les taux d'erreur sont trop élevés pour que l'on puisse accepter la modélisation. En revanche pour le cas 2, les taux d'erreurs sont suffisamment faibles, donc pour l'itinéraire technique du cas 2 suivi par Tafa, on peut accepter la modélisation du produit brut de la culture de Maïs+Niébé en fonction de la valeur de fertilisation azotée, ainsi que tous les résultats concernant le calcul du seuil d'utilisation des engrais (présentés dans la partie précédente II.3)

Culture de riz sur tanety

Pour la culture de riz sur tanety, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

		Données TAFA	Données standards	Données réelles
Semis direct	Riz B22	4	0	1
Labour	Riz B22	1	2	1

Tableau 23 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type de culture de riz sur tanety

Nous pouvons donc tester les modèles pour

- la culture de riz variété B22, en semis direct, à partir des données de TAFA.
- la culture de riz variété B22, en labour, à partir des données standards et des données réelles

i. Riz variété B22 en semi direct sur tanety

Pour les données de Tafa, on dispose de quatre essais culturaux pour le riz en semi direct sur tanety. La variété du riz cultivée n'est en revanche pas connue.

		Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
Cas 1 : précédent stylosanthès	Itinéraire technique sans engrais minéraux	Aucune	1 680 000	0
	Itinéraire technique avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	2 160 000	69,4
Cas 2 : précédent soja + bracharia	Itinéraire technique sans engrais minéraux	Aucune	1 104 000	0
	Itinéraire technique avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 200 000	69,4
Cas 3 : précédent sorgho + éleusine + C.juncea + Cajanus	Itinéraire technique sans engrais minéraux	Aucune	1 296 000	0
	Itinéraire technique avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 728 000	69,4
Cas 4 : précédent sorgho	Itinéraire technique sans engrais minéraux	Aucune	1 200 000	0
	Itinéraire technique avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 680 000	69,4

Tableau 24 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en semis direct sur tanety, à partir des données de Tafa

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 5225 \cdot N + 831\,600$ {d}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {d} au produit brut observé des données de Tafa.

	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)	Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {d}	Produit brut (Ar/ha) observé	Taux d'erreur par rapport au modèle
Cas 1	0	831 600	1 680 000	102%
	69,4	1 194 215	2 160 000	81%
Cas 2	0	831 600	1 104 000	33%
	69,4	1 194 215	1 200 000	0%
Cas 3	0	831 600	1 296 000	56%
	69,4	1 194 215	1 728 000	45%
Cas 4	0	831 600	1 200 000	44%
	69,4	1 194 215	1 680 000	41%

Tableau 25 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22, en semis direct, sur tanety

Pour les cas 1, 3 et 4, les taux d'erreurs sont très élevés donc on ne peut pas accepter la modélisation pour ces données. Concernant le cas 2, le modèle fonctionne très bien s'il y a une fertilisation mais n'est pas performant pour l'itinéraire technique sans engrais. Le modèle pourrait être accepté pour l'itinéraire technique du cas 2 à conditions de rester critique face aux résultats.

Riz variété B22, en labour, sur tanety

Le tableau suivant donne les caractéristiques de la culture de riz en labour sur tanety des données de Tafa.

	Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
Itinéraire technique sans engrais minéraux	Aucune	1 008 000	0
Itinéraire technique avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 488 000	69,4

Tableau 26 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur tanety, à partir des données de Tafa

A partir des données standards, on dispose de deux jeux de données différents pour la culture de riz variété B22 en labour sur tanety. Ils correspondent à deux itinéraires techniques différents.

		Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
ITK 1	sans urée	64 kg/ha de NPK + 2864 kg/ha de fo	865 150	92,96
	avec urée	64 kg/ha de NPK + 53 kg/ha d'urée + 2864 kg/ha de fo	1 533 950	117,34
ITK 2	sans NPK	2946 kg/ha de fo	999 350	88,38
	avec NPK	87 kg/ha de NPK + 2946 kg/ha de fo	1 397 000	97,95

Tableau 27 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur tanety, à partir des données standards

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) a été obtenue : $PB = 5367 \cdot N + 506\,418$ {e}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {e} au produit brut observé des données de Tafa et des données standards.

		Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)	Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {e}	Produit brut (Ar/ha) observé	Taux d'erreur par rapport au modèle
données Tafa	Cas 1	0	506 418	865 150	71%
		69,4	878 888	1 533 950	75%
données standards	ITK 1	92,96	1 005 334	865 150	14%
		117,34	1 136 182	1 533 950	35%
	ITK 2	88,38	980 753	999 350	2%
		97,95	1 032 116	1 397 000	35%

Tableau 28 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22 en labour sur tanety

Les taux d'erreurs sont trop élevés pour que l'on puisse accepter la modélisation pour ces itinéraires techniques.

Culture de riz sur baibohos

Pour la culture de riz sur baibohos, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous. Pour les données de Tafa, la variété du riz cultivé n'est pas connue.

		Données Tafa	Données standards	Données réelles
Labour	Riz B22	1	2	1
Semis direct	Riz Sebota 60	1	1	0

Tableau 29 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type de culture de riz sur baibohos

Nous pouvons donc confronter les résultats obtenus pour

- la culture de riz variété B22, en labour, à partir des données de Tafa, des données standards et des données réelles.

Riz variété B22, en labour sur baibohos

Le tableau suivant donne les caractéristiques de la culture de riz en labour sur tanety des données de Tafa.

	Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
ITK sans engrais minéraux	Aucune	1 296 000	0
ITK avec engrais minéraux	130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée	1 968 000	69,4

Tableau 30 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos, à partir des données de Tafa

Pour les données standards, on dispose de deux jeux de données différents pour la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos. Ils correspondent à deux itinéraires techniques différents.

		Fertilisation	Produit brut observé (Ar/ha)	Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)
ITK 1	sans NPK	68 kg/ha d'urée + 3907 kg/ha de fo	1 992 650	148,49
	avec NPK	121 kg/ha de NPK + 68 kg/ha d'urée + 3907 kg/ha de fo	2 621 850	161,8
ITK 2	sans NPK	2983 kg/ha de fo	1 389 850	89,49
	Avec NPK	138 kg/ha d'urée + 2983 kg/ha de fo	1 703 350	104,67

Tableau 31 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos, à partir des données standards

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) a été obtenue : $PB = 6553 \cdot N + 868\,450$ {f}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {f} au produit brut observé des données de Tafa et des données standards.

		Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha)	Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {f}	Produit brut (Ar/ha) observé	Taux d'erreur par rapport au modèle
données Tafa	Cas 1	0	868450	1 296 000	49%
		69,4	1323228	1 968 000	49%
données standards	ITK 1	148,49	1841505	1 992 650	8%
		161,8	1928725	2 621 850	36%
	ITK 2	89,49	1454878	1 389 850	4%
		104,67	1554353	1 703 350	10%

Tableau 32 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos

Pour les données de Tafa, on ne peut pas accepter le modèle car les taux d'erreurs sont trop élevés. Il en est de même pour l'itinéraire technique 1 des données standards.

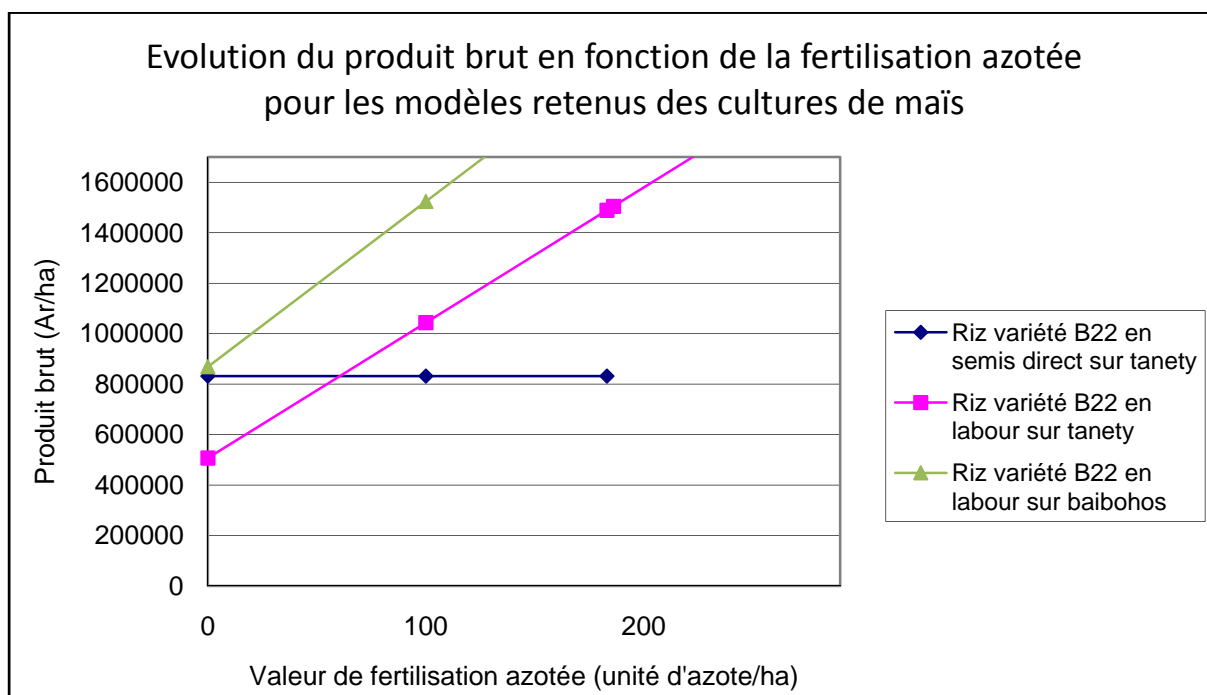
En revanche, pour l'itinéraire technique 2 des données standards, les taux d'erreur sont suffisamment faibles pour qu'on accepte le modèle.

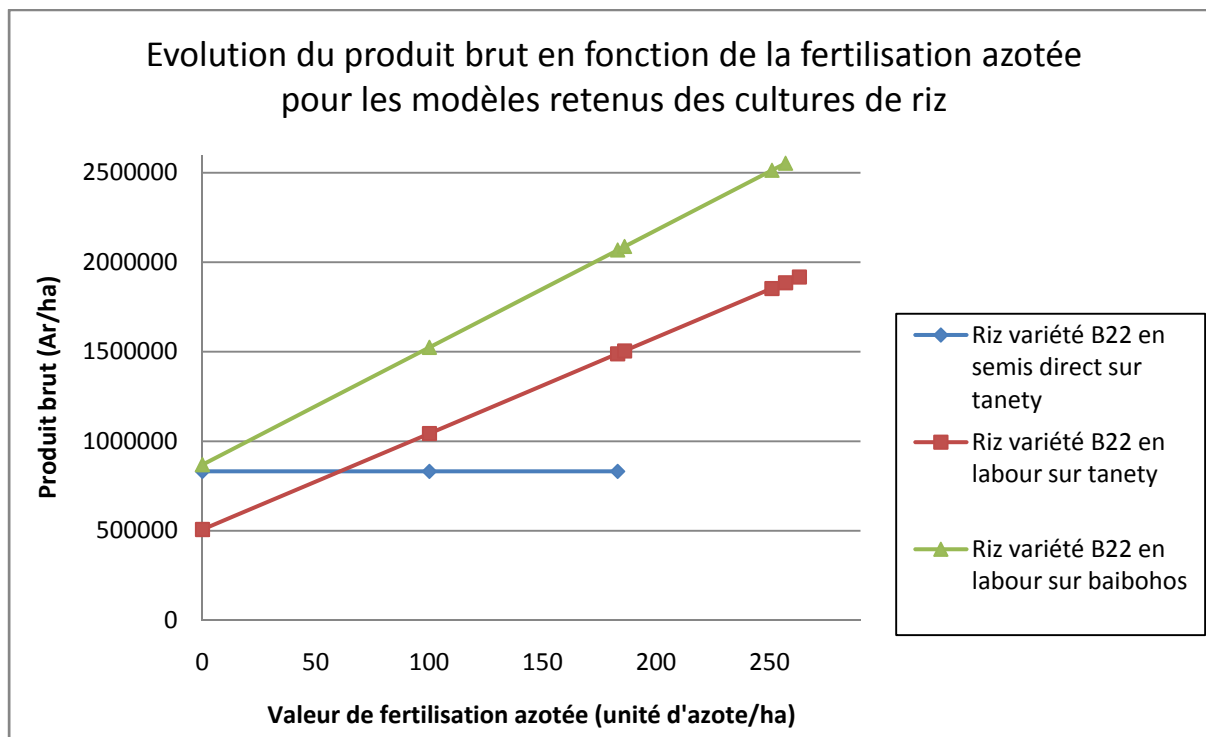
Synthèse des modèles obtenus et des itinéraires techniques correspondants

Type de culture	Equation de modélisation		Itinéraires techniques correspondants
Maïs+vigna en semis direct sur tanety	$PB = 6320 * N + 242\,800$	[0 ; 186]	ITK suivi par Tafa
Maïs+niébé en labour sur tanety	$PB = 5440 * N + 198\,400$	[0 ; 251]	ITK 2 des données standards
Maïs+vigna en semis direct sur baibohos	$PB = 2360 * N + 968\,800$	[0 ; 281]	ITK 2 (précédent avoine) suivi par Tafa
Riz variété B22 en semis direct sur tanety	$PB = 5225 * N + 831\,600$	[0 ; 183]	ITK 2 (précédent soja + bracharia) suivi par Tafa
Riz variété B22 en labour sur tanety	$PB = 5367 * N + 506\,418$	[0 ; 263]	aucun
Riz variété B22 en labour sur baibohos	$PB = 6553 * N + 868\,450$	[0 ; 257]	ITK 2 des données standards

Pour certains itinéraires techniques que nous avons pu tester, nos modèles peuvent être appliqués. Ainsi, au moins pour ces itinéraires techniques, il sera intéressant d'utiliser les résultats obtenus dans la partie II.3 à partir de ces modèles : détermination de la quantité seuil d'engrais à apporter à la culture pour un prix de l'engrais connu et détermination du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour une quantité fixée d'engrais apportés à la culture.

Les deux graphiques suivant permettent de visualiser les modèles obtenus pour le maïs et pour le riz sur leurs intervalles de validité respectifs.





Conclusion

Cette étude a permis de déterminer des seuils d'utilisation des engrais minéraux pour plusieurs cultures et itinéraires techniques précis. Ces seuils sont intéressants car ils prennent en compte à la fois la rentabilité permise par l'utilisation d'engrais minéraux, mais également le risque financier engendré par celle-ci. Néanmoins, il faudra rester critique face à ces résultats car :

- La variabilité climatologique n'a pas été prise en compte. En effet, les calculs des seuils ont été réalisés à partir des données de 2008 pour les données du RFR, et à partir des données de 2009 pour celles de Tafa. Réaliser le même travail sur plusieurs années et confronter les résultats, aurait permis de contourner cette difficulté.
- La variabilité des prix de vente n'a pas été intégrée aux calculs. Pour les données de Tafa, le prix de vente du maïs utilisé est 350 Ar/kg et celui du riz est 480 Ar/kg. Pour les données du RFR, le prix de vente du maïs 400 Ar/kg et celui du riz est 550 Ar/kg.

De plus, comme nous l'avons fait remarquer à plusieurs reprises dans le rapport, il y a une très grande variabilité des rendements et de la fertilisation. Ceci est dû au fait que la fertilité des sols est un paramètre qui n'a pas été pris en compte lors de la récolte des données et ceci constitue la plus grande faiblesse de notre travail. En effet, nous avons basés nos calculs sur l'hypothèse que les sols possédaient tous la même fertilité et ainsi que les différences de rendements constatées étaient dues à l'apport d'engrais minéraux. En réalité, on ne peut pas être certain qu'une augmentation de la fertilisation minérale est la seule source

explicative de l'augmentation du rendement par comparaison des données. Nous avons d'ailleurs donné des exemples illustrant cette remarque : dans les résultats des données standards, pour un même itinéraire technique et une même fertilisation on a constaté des rendements très différents ; dans les résultats des données réelles, nous n'avons pas toujours réussi à corréler l'augmentation du rendement à l'augmentation de la fertilisation. De plus, nous avons constaté que souvent, en pratique, les paysans avaient pour stratégie d'apporter des engrais minéraux sur les parcelles peu fertiles afin d'obtenir des rendements similaires à ceux réalisés sur sols fertiles.

Néanmoins, notre travail reste une base intéressante pour apporter des conseils adaptés aux paysans. Les itinéraires techniques étant extrêmement variables d'une parcelle à une autre et ce sera aux opérateurs d'ajuster les recommandations à chaque particulier rencontré sur le terrain.